物联网技术在慢性阻塞性肺疾病管理中的研究进展与展望

潘子涵[1, 2]，李姝润[1]，陈亚红[1*]

1.100191 北京市，北京大学第三医院呼吸与危重症医学科
2.100034 北京市，北京大学第一医院全科医学科
*通信作者：陈亚红，教授 / 博士生导师；E-mail：chenyahong@vip.sina.com

【摘要】 近年来，物联网技术得到了极为快速地发展，在医学领域也广为应用。慢性阻塞性肺疾病（以下简称慢阻肺病）是我国最为常见的慢性呼吸疾病，如何利用物联网技术改善慢阻肺病管理的临床实践值得探讨。笔者对国内外物联网技术在慢阻肺病管理中的研究进展进行总结，通过回顾文献发现，目前物联网在慢阻肺病管理中的应用研究仍处于探索阶段，缺乏高质量、大样本研究，后期研究中需对技术成熟的模式或产品进行更为系统的真实世界应用评价，特别是对患者远期临床结局、生活质量的影响，以及卫生经济学评价。产品设计应当符合慢阻肺病疾病特征及使用人群特点，通过定性研究了解用户使用体验、看法或态度也值得关注。

【关键词】 肺疾病，慢性阻塞性；物联网；疾病管理；综述
【中图分类号】 R 563.9 【文献标识码】 A DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2023.0355

Research Progress and Prospects of Internet of Things Technology in Chronic Obstructive Pulmonary Disease Management

PAN Zihan[1, 2]，*LI Shunrun*[1]，*CHEN Yahong*[1*]

1.Pulmonary and Critical Care Medicine，Peking University Third Hospital，Beijing 100191，China
2.General Practice Medicine，Peking University First Hospital，Beijing 100034，China
**Corresponding author：CHEN Yahong，Professor/Doctoral supervisor；E-mail：henyahong@vip.sina.com*

【Abstract】 In recent years，the Internet of Things technology （IoT） has been developed extremely rapidly，and has been widely applied in the medicine field. Chronic obstructive pulmonary disease （COPD） is one of the most common chronic respiratory diseases in China，and it is worth exploring how IoT can be used to improve the clinical practice of COPD management. We summarized the research progress of IoT technology in COPD management at home and abroad and found that the current research on the application of IoT in COPD management is still in the exploratory stage and lacks high-quality，large-sample studies by reviewing the literature. Real-world studies are needed to conduct systematic evaluation of designed mature models or products in the future，especially the impacts on long-term clinical outcomes of patients，quality of life and health economics evaluation. Products design should be tailored to the characteristics and target of COPD and the characteristics of users，and emphasis should also be placed on qualitative researches to understand the experiences，opinions or attitudes of users toward such products.

【Key words】 Pulmonary disease，chronic obstructive；Internet of things；Disease management；Review

物联网技术（Internet of Things Technology，IoT）是新一代信息技术的重要组成部分，是物物相连的互联网，用户端可延伸和扩展到任何物与物之间进行信息互换和通讯[1]。随着 IoT 在医学领域中的应用越来越普遍，进而衍生出了医学物联网（Internet of medical things，IoMT）这一概念，即通过物联网和通信技术将医护工作人员、患者、各种医疗设备和设施智能、便捷地连接起来，从而全面支持医疗数据自动识别、定位、采集、跟

基金项目：国家自然科学基金资助项目（82090014）；首都卫生发展科研专项项目资金（首发 2020-2Z-40917）

引用本文：潘子涵，李姝润，陈亚红 . 物联网技术在慢性阻塞性肺疾病管理中的研究进展与展望［J］. 中国全科医学，2023.DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2023.0355.［www.chinagp.net］

PAN Z H，LI S R，CHEN Y H. Research progress and prospects of internet of things technology in chronic obstructive pulmonary disease management［J］. Chinese General Practice，2023.

本文数字出版日期：

踪、管理、共享等各项功能，更好地完成智能化医疗以及智能化物品管理[2]。通过 IoT 采集到的健康信息主要通过以下路径进行传递：物联网硬件将收集到的数据（包括自动采集和用户录入的数据）上传至云平台，利用云计算能力存储、处理、分析，将反馈信息发送到用户的手机、电脑等终端[3]（图 1）。

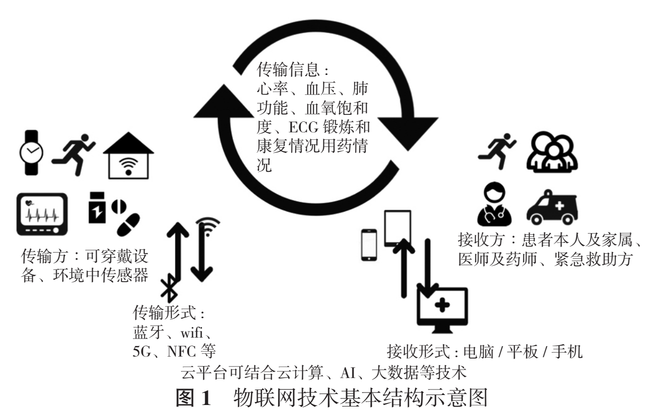


图 1　物联网技术基本结构示意图

Figure 1　Schematic diagram of the basic structure of IoT technology

基于 IoT 高效、持续、便捷的特点，IoT 在慢性病管理中具有长足优势，其相关研究也逐年增加。据统计，1999—2020 年 Web of Science 数据库中有关物联网在慢性病领域中应用的外文文献有 322 篇，1999 年第 1 篇该主题的文章发表后，之后相关文章发表数量逐年上升，2019 年全年发文量最高，达 47 篇，在慢性病中的应用已经成为研究热点[3]。在新型冠状病毒感染（COVID-19）疫情期间，IoT 更是发挥了重要作用。在 IoT 的协助下实现了对高危人群的追踪，对隔离人群进行监测，在普通人群中进行大规模的筛查以及疫情预测，通过远程收集并实时传送数据，一定程度上减少了疫情的扩散[4-5]，帮助人们有效地应对疫情。COVID-19 疫情也促进了 IoT 的发展，特别是可穿戴设备[6-7]。

慢性阻塞性肺疾病（以下简称慢阻肺病）是世界范围内常见的呼吸道疾病之一。世界卫生组织（WHO）数据显示，全球慢阻肺病患者共 3.84 亿，每年高达 317 万患者死亡[8]。慢阻肺病也是中国最为常见的慢性呼吸系统疾病，中国有慢阻肺病人群 9 900 万，为患者的家庭及国家带来了沉重的负担[9]。如何借助 IoT 改善慢阻肺病的管理是国内外研究的热点问题。早在 2013 年便有学者提出了基于手机、传感器、云端服务器等构建物联网慢阻肺病综合管理系统[10]。SWOT 分析显示，基于物联网医疗，有助于开展规范化、全程化和智能化的慢阻肺病管理，能够分别使医生和患者获得自身需要的信息，提高两者之间的沟通效率。同时，通过远程医疗系统能够联通各级医疗机构，使优质的医疗资源下沉至基层医疗机构，实现医疗资源的上下贯通[11]。由此可见，IoT 在慢阻肺病管理中具有巨大的应用价值。本文对国内外 IoT 在慢阻肺病管理中的研究及应用进行总结，了解该技术在慢阻肺病领域中的研究现状，总结其中的优势及存在的困难与挑战，以期为 IoT 在慢阻肺病领域的研究或应用提供思路。

1　本文检索策略

计算机检索 Pubmed、万方、知网等数据库，检索时间为建库至 2023-04-30。中文检索词：物联网、互联网、互联网 +、远程医疗、远程管理、可穿戴设备、人工智能、慢阻肺病、慢性阻塞性肺疾病；英文检索词：Internet of Things Technology、IoT、wearable device、Tele-health、Tele-medicine、AI、artificial intelligence、COPD、Chronic Obstructive Pulmonary Disease。纳入标准：有关应用 IoT 进行慢阻肺病管理的研究。排除标准：与本文主题无关，无法获得全文的文献。中文数据库（知网、万方数据库）共检索到文献 243 篇，剔除重复文献 65 篇、与主题不相关文献 83 篇、毕业论文 19 篇、综述类文献 38 篇、科技成果类 4 篇、会议文章 7 篇、发表于非学术期刊 11 篇、非 IoT 文献 7 篇，剩余 9 篇文献纳入分析。英文数据库（Pubmed）共检索到文献 3 117 篇，剔除重复文献 8 篇、与主题不相关文献 3 038 篇、综述类文献 24 篇、评论 2 篇、定性研究 2 篇、指南 1 篇、无全文文献 7 篇、研究方案 3 篇、非 IoT6 篇，剩余 26 篇文献纳入分析，其中 16 篇研究有关设备研发，10 篇文献为临床应用研究。检索过程中发现，一些研究中使用了“物联网”等字眼，但并非应用了真正意义上的 IoT，该类研究不纳入本综述分析范畴。文献检索结果可视化展示见附表 1。

2　IoT 在慢阻肺病中的研究应用

2.1　疾病筛查

我国有庞大的慢阻肺病患者群，推荐进行慢阻肺病筛查。目前已有研究验证了一些筛查工具的准确性，如 CDQ 问卷、CAPTURE 问卷、便携式肺量计等[12]，但上述工具使用率低，慢阻肺病筛查效率欠佳，如何更加高效地发现慢阻肺病患者是我国的研究热点。在上海某社区建立的移动互联网信息平台中嵌入了慢阻肺病筛查问卷，经过筛查发现了 218 例慢阻肺病患者，且在平台设定信息的指导下对患者病情自动进行了分级，并给予了指导治疗的信息[13]。该应用实例提示可借助物联网平台提高筛查工具的可及性，扩大筛查范围，提高筛查效率。另有研究通过 IoT 采集生理学指标（如活动量、心率、呼吸频率、血氧饱和度等）进行慢阻肺病筛查，提供了更为客观的筛查数据[14-16]。但与慢阻肺病直接相关的可监测的生理指标数量尚少，上述生理指标与慢

阻肺病的相关性仍有待深入研究。

2.2 病情监测

对慢阻肺病患者进行有效地病情监测是疾病管理中的重要部分，IoT 为慢阻肺病患者的持续性随访、治疗方案的调整等提供了便利条件，也促进了患者持续监测自身健康状况，提高了治疗依从性[17]。国内的一项小型随机对照研究对稳定期的慢阻肺病患者使用带有蓝牙功能的设备进行肺功能监测、呼吸训练，数据可通过蓝牙实时传输至手机 APP、微信小程序等，也可通过该系统监测患者的用药情况，如用药时间、频次、不良反应等；患者佩戴的硬件设备，如呼吸功能训练器、血压计、指脉氧等，可实时监测各生理指标并自动传输至云平台；经过 6 个月的随访，物联网管理组的 16 例（16/16）患者均保持了规范化治疗，而常规护理组则仅有 8 例（8/15）患者持续规范化治疗，甚至有 1 例自行终止了治疗[18]。虽然该研究显示出了 IoT 对患者依从性的有利影响，但样本量太小，量化指标较少，研究效度较差。急性加重是慢阻肺病管理的重要内容，利用 IoT 采集的信息通过机器学习等技术建立急性加重预测模型是常见的研究内容。在中国台湾的一项小样本研究中，通过可穿戴设备、空气质量传感器及手机 APP 采集患者居家生活方式、生活环境参数、症状，建立了慢阻肺病急性加重预测模型，经验证，该模型预测未来 1 周内慢阻肺病急性加重事件的准确率达 92.1%，灵敏度为 94.0%，特异度为 90.4%，受试者工作特征（ROC）曲线下面积（AUC）超过 90%，表现出了极高的准确性[19]。但该研究仅收集了 4 个月的患者数据，模型稳定性如何证据不足，且该模型无外部验证，缺乏临床实际应用证据。肺部呼吸音的变化可能提示急性加重，IoT 能够帮助人们采集较为隐秘的病情信息。FERNANDEZ-GRANERO 等[20]通过使用带有远程听诊功能的听诊器监测患者肺部呼吸音变化，平均提前了（5.0±1.9）d 预测出了 75.8% 的加重事件，但仅有 16 例患者参与了测试，无大规模的应用验证。

2.3 肺功能监测

肺功能是慢阻肺病管理中的重要监测项目，便携式肺量计智能化是物联网背景下肺量计发展的主要趋势。国内现已开发出带有智能软件的便携式肺量计，可通过网络或 USB 线与电脑或手机连接传输数据，也可将数据直接传至云端服务器。经验证，该类设备的各项肺功能检测参数与诊断性肺功能仪检测结果具有高度一致性，可用于慢阻肺病筛查[21]。在现实中该便携式肺量计在大规模人群中也表现出了良好实用性。2017—2018 年我国某地区使用该便携式肺量计为辖区内近 9 万名居民进行了肺功能检查，肺功能数据合格的居民共 61 624 人，有效率达 70%，并有效检出了阻塞性通气功能障碍、限制性通气功能障碍、混合性通气功能障碍、小气道功能障碍等不同类型的肺通气功能障碍，极大提高了慢阻肺病筛查效率[22]。带有远程数据传输功能的肺量计也为偏远地区的患者提供了便利条件。波斯尼亚的研究人员同样研发了带有蓝牙功能的便携式肺量计，性能与我国产品类似，经 780 名来自偏远地区的慢阻肺病及哮喘患者的验证，与人工诊断对比，该设备的准确性达 97.3%[23]。目前该类产品研发较为成熟，适用于在经济欠发达地区推广以提高慢性气道疾病的诊断。

手机是最常用的移动设备，韩国研究人员开发出了基于手机的肺功能检测应用程序。在该研究中，人们可通过远程肺功能监控应用程序、云平台及没有任何外部连接设备的智能手机的麦克风进行肺功能测试。当受试者进行肺功能测试时，手机端可以显示吹气曲线及第 1 秒用力呼气容积（FEV_1）、用力肺活量（FVC）、呼气流量峰值（PEF）及 FEV_1/FVC，数据通过应用程序上传至云平台，实现肺功能的远程监测。通过该应用程序，患者可以自由地测量肺功能，不受时间和空间的限制，医生则可以实时查看患者的肺功能状况[24]。目前该应用程序仅在研发阶段，虽然在小样本的健康人群中进行了应用验证，但尚未推广到实际应用中，测量指标的准确性如何尚不确定，仍有待与诊断性肺功能检查结果进行一致性对比。需指出的是，肺功能结果的判读需结合测量数值及吹气曲线，特别是吹气曲线，是评判肺功能质量的首要参考指标，在上述研究中便携式肺量计表现出了良好的实用性，但对图形的质控如何少有提及。对肺功能图像的判定是后期智能化肺量计研发中需要注意的技术问题。

2.4 呼吸康复指导

呼吸康复是慢阻肺病重要的非药物治疗方式之一，受资源配置影响，呼吸康复在我国实施的并不理想，普及率不高，为数不多的呼吸康复多于大型三甲医院中开展[25]。研究显示，居家康复训练与机构中的康复训练同样有效[26-27]。IoT 为促进呼吸康复的实施，特别是为居家康复提供了技术支持，有助于患者从康复训练中获益。系统综述显示，通过移动智能设备能够促进慢阻肺病患者的体力活动，提高生活质量、自我管理能力以及肺康复的依从性，甚至有助于早期识别急性加重，从而降低患者再住院次数、减少医疗花费[28]。但该系统综述纳入分析的研究均为国外研究，也反映了呼吸康复在我国的实施现状，我国亟待有关 IoT 在呼吸康复中应用的高质量研究，目前我国仅有一些小型的探索性研究。我国某三甲医院收治的慢阻肺病患者中，物联网康复组使用了带有 IoT 的呼吸训练设备，患者通过智能手机上的 APP 或小程序登录个人账号，通过蓝牙或无线网络连接康复设备，在 APP 或小程序中患者可根据康复方

案选择训练类型和训练程度，该训练设备可采集患者的肺功能、训练次数、训练效果等信息，通过蓝牙或无线网络将信息传至终端，医生在医生端可远程监测患者康复训练情况，并向患者发放康复处方指令，患者接收指令后进行居家康复训练；训练 4 周后，反映最大吸气肌综合力量的指标——最大吸气压（MIP）在两组患者中均有提高，但物联网康复组患者的 MIP 较常规康复组提高的更为显著（6.43 vs 5.06）；在生活能力方面，物联网康复组患者日常生活活动能力（ADL）较常规康复组有明显改善（22.61 vs 12.08）；而在康复训练的依从性方面，常规康复组有 22.9%（11/48）的患者依从性一般或差，而物联网康复组仅 2%（1/48）患者为一般或差[29]。上述研究中使用的康复设备具备一定的智能化，可自动收集患者的康复信息并传递数据，有助于医务人员充分、详细、准确了解患者的康复情况，但研发成本高，是否适用于广泛的社区人群仍有待后期的验证。可穿戴设备具有良好的可及性，在呼吸康复方面也有所应用。一项通过可穿戴设备指导老年慢阻肺病患者进行肺康复的研究中，患者每日佩戴可穿戴设备，记录并上传患者的日常饮食习惯、家庭氧疗相关数据、肺康复训练实施情况，并每月向患者邮寄随访报告，12 个月后，患者的肺功能、慢阻肺评估测试问卷（CAT）及改良呼吸困难指数（mMRC）评分、生活质量等有显著改善[30]。但该研究中需患者主动在可穿戴设备中填报相关信息、人工上传数据，不能保证信息的准确性，且需要医护人员每日监测、审核数据并进行判读，设备智能化不足，仍需依靠密集的人力资源。慢阻肺病患者多为老年患者，对可穿戴设备的使用能力不一，人工录入数据可能会对他们形成负担而弃用，主动监测并上传健康信息可能更能保证使用效果及信息的准确性。

多样的物联网设备应用于呼吸康复具有可行性，但现有的研究均于三甲医院患者中开展，且均为小样本研究，观察时间较短，仍需大样本的长程临床试验充分验证各类型设备的有效性及成本–效益。由于我国呼吸康复整体实施现状较差，国内有关 IoT 应用于呼吸康复的研究更是少之又少，高质量的研究更是不足，在该领域内的探索仍大有空间。2021 年我国发表了有关基于 IoT 进行呼吸康复的指南[31]，旨在借助 IoT 推动呼吸康复的实施，进而充分发挥呼吸康复在慢阻肺病中的治疗作用。

2.5 用药指导

吸入药物治疗是慢阻肺病患者治疗的重要内容。智能吸药装置备受青睐，该类装置利用外接或集成在吸入器上的传感器，主要通过蓝牙连接到移动设备上的应用程序，不仅可以提醒患者使用吸入药物，还能根据患者的使用时间、吸入技术提供个性化反馈。这些信息不仅有助于检测和纠正患者的用药习惯，还可以指导医生调整患者的用药[32-33]。起初，该类设备的研发是为了监测患者的用药依从性。在慢阻肺病和哮喘患者中进行的研究显示，智能吸药装置改善了患者的用药依从性，减少了急性加重次数，也改善了肺功能[34-36]。随着设备的研发越发精细，该类设备的用途也越发广泛。美国的一项研究中，通过在短效支气管扩张剂沙丁胺醇吸药装置上安装传感器，收集了慢阻肺病患者使用该急救药物的信息，了解了频繁使用沙丁胺醇患者的特征及用药规律，为患者病情评估及精准治疗提供了可参考信息[37]。然而，尽管技术的进步使智能吸入装置的成本较前明显下降，其价格仍是需要考量的因素，相关临床研究也多在发达国家开展。由于研发成本较高，该类产品多在小样本人群中进行试验，关于其应用效果仍有待大样本、广人群的研究。而尽管在一些研究中智能吸入装置具有较好的成本–效益，但在患者日常中生活长期使用的成本–效益如何仍缺乏证据[38]。此外，由于该类装置多需与智能手机相连，患者需配有智能手机或具备操作智能手机的能力，而慢阻肺病患者多为老年人，一定程度上也限制了该类装置的推广。

2.6 无创呼吸机治疗

无创呼吸机是慢阻肺病的有效治疗手段之一，特别是对合并了高碳酸血症的慢阻肺病患者。随着 IoT 与无创呼吸机的有机结合，将有助于促进无创呼吸机在慢阻肺病患者中的应用。基于物联网的家庭无创呼吸机使居家监测气体交换、调节通气参数成为可能，减少了患者因呼吸机调定而住院的时间[39-41]。我国一项慢阻肺病患者的研究结果显示，使用该类无创呼吸机 6 个月后，患者的 FEV_1、FVC 有所提高，mMRC、CAT 评分减少，与氧化应激有关的指标，如超氧化物歧化酶（SOD）、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）水平有所升高，而血清脂质过氧化物（LPO）、丙二醛（MDA）水平下降，此外，再次住院率、急性加重率也较前降低[42]。依从性是影响无创呼吸机治疗效果的重要因素之一，在远程监测患者对无创呼吸机的依从性方面，国内外研究结论不一。我国的研究显示，使用了基于 IoT 的无创呼吸机患者的使用天数、使用时间明显高于一般无创呼吸机治疗患者，依从性提高[43]。但国外的研究显示对无创呼吸机的远程监测虽可减少患者的治疗成本、提高生存率，但并未改善患者的依从性[44-45]。而另有国外的研究显示，远程无创呼吸机在改善患者的使用依从性方面具有正向作用[46-47]。但上述研究均在阻塞性睡眠呼吸暂停低通气患者（OSA）中进行，虽然 OSA 是慢阻肺病常见的合并症，但两人群对呼吸机治疗的依赖程度不一，可能是导致研究结果产生差异的原因之一。目前有关在慢阻肺病患者中使用基于 IoT 的无创呼吸机研究较少，虽然

在 OSA 患者中进行的有关研究也具有一定的参考意义，但仍需要大规模的多中心研究来进一步验证其在慢阻肺病患者中的应用效果，特别是远程监测无创呼吸机的安全性、有效性和卫生经济学评价。

2.7　慢阻肺病远程管理

一项发表于 2012 年的来自于 Cochrane 的系统综述及 Meta 分析系统回顾了远程医疗在慢阻肺病患者管理中的有效性，结果显示，远程医疗并未改善慢阻肺病患者的生活质量，也没有减少死亡风险，但减少了慢阻肺病患者急诊就诊及住院的风险[48]。随着 IoT 的渗入，临床研究的证据也出现了微妙变化。2018 年，在西班牙进行的一项有关慢阻肺病远程管理的 RCT 试验中，由患者在家自主测量血压、血氧饱和度、心率和肺活量，由监测设备收集呼吸频率和吸氧情况，通过 IoT 上传以上信息。通过 12 个月的随访，使用物联网进行远程管理的慢阻肺病患者的全因死亡人数与常规管理组相似（12 例 vs 13 例），但急诊就诊或住院次数无明显减少（60% vs 53.5%，P>0.05），与既往研究结论不同；医疗资源利用方面，远程管理组的花费明显少于常规管理组（7 912 欧元 vs 8 918 欧元）；虽然差异无统计学意义，但远程管理组患者的住院时长及 ICU 治疗时间较常规管理组明显缩短〔（18.9±16.0）d、（6.0±4.6）d vs （22.4±19.5）d、（13.3±11.1）d〕[49]。随着技术的不断进步，采集的数据将呈现出多样性，准确性也有所提高，提示需动态评估慢阻肺病远程管理有效性。

2.8　协助慢阻肺病分级诊疗的实施

由于卫生体系的差异，近 10 年来分级诊疗在我国才受到了其应有的重视。特别是在慢阻肺病等慢性疾病中，IoT 则为慢阻肺病的分级诊疗提供了技术支持。早在 2014 年，我国学者便提出了借助物联网平台充分发挥全科医生在慢阻肺病管理中的作用，同时使大医院优质的专科服务延伸至社区，以 IoT 为媒介促进全科与专科医师的交流[50]。上海某社区开展的一项基于 IoT 进行社区慢阻肺病管理的研究中，由社区全科医生与患者通过终端 APP 进行联系，出现紧急事件时全科医生可通过物联网平台与三甲医院的呼吸科进行沟通，呼吸专科团队通过该平台可及时了解患者的基本信息及病情，必要时可在平台上进行远程会诊、转诊或住院治疗，形成了全科医生－呼吸专科医生共同合作、协同管理慢阻肺病的模式[51]。由于该研究仅为一项小样本的探索性试验，研究中并未取得量化的研究结果，所使用的 IoT 也较为简单，但作为新型慢阻肺病管理模式的探索，在该过程中患者在社区卫生机构获得了规范、专业的医学指导及治疗，实现了同质化管理，同时，节约了患者的就医时间，简化了就医流程，特别是实现了社区卫生机构与三甲医院的资源共享和实时交流，为该技术在慢阻肺病分级诊疗中应用的可行性提供了参考价值。

前期的小规模探索让研究者看到了 IoT 为慢阻肺病分级诊疗的实施提供平台与途径的可能性，随着技术的进步，IoT 在慢阻肺病分级诊疗中将发挥更多的作用。在厦门海沧区，基于 IoT 建立的智能化无线传输云端大数据能够记录所有研究对象的基本信息及肺功能数据，并能借助该系统对筛查出的中、重度气道阻塞患者进行转诊，通过绿色通道，优先转至上级医院就诊。该研究通过物联网医学技术，将区域内医疗信息资源进行了很好的整合，为慢阻肺病分级诊疗的实施奠定了基础[52]。

2.9　可穿戴设备在慢阻肺病管理中的应用

通过可穿戴设备进行慢阻肺病管理是研究中的热点，主要应用于远程监护、疾病预测、患教、咨询等，可收集呼吸、心率、运动追踪、血氧饱和度等生理指标。国内外研究显示，可穿戴设备有助于改善患者的临床症状、肺功能、生活质量、自我管理能力，降低医疗花费、住院率和住院时长、死亡风险，节约医疗资源[53]。但目前未发现该类技术能够减少患者急性加重风险，可能与研究人群有关，患者以稳定期居多，观测时间较短，尚不足以监测到急性加重事件，故对急性加重管理的影响判断不足。一些临床试验采用穿戴设备远程监测患者生命体征、血氧饱和度等以评估病情，但结果不理想，可能是慢阻肺病无诸如血压、血糖等与疾病状况特别相关的日常监测指标。血氧饱和度的灵敏度、特异度低，仍需要进一步研究更特异的指标[54]。目前，虽然有不少研究探索了可穿戴设备在慢阻肺病中的应用，但利用可穿戴设备促进临床决策的研究在慢阻肺病中仍是一片洼地，相关研究的数量远不及心血管疾病或糖尿病，且大多数研究为产品研发相关，临床应用研究较少。

3　IoT 在慢阻肺病管理中存在的问题与挑战

IoT 在慢阻肺病管理中的一些优势已经清晰可见，但使用 IoT 进行慢阻肺病管理也存在着如下问题与挑战。

3.1　设备研发类研究较多，临床应用研究数量少，缺乏高质量研究

目前，国内外开展的关于 IoT 管理慢阻肺病的研究多为小样本人群的探索性试验，重点关注了技术层面的可能性。在纳入分析的 26 篇外文文献中，16 篇文献为设备研发相关，仅有 10 篇有关临床应用，技术发展与临床应用之间存在间隙，临床应用存在滞后性。虽然产品种类较多，但能够应用于临床研究的产品较少。高质量研究更是不足，特别是缺乏高质量的队列研究或 RCT 研究。虽然大部分产品在研发中表现出了良好的有效性，但研究人群样本量较小，研究结果效能不足，缺少外部验证及实际应用评价，特别是卫生经济学评价，真实世界中的应用如何证据有待补充。此外，慢阻肺病的病情

变化具有季节性，多数研究的观察时间集中于 6~12 个月，少则数天，未能充分覆盖各个季节中的有关病情状态的相关数据。

3.2　无法保证患者自填信息的真实性与准确性

在慢阻肺病管理中，症状评估是重要的监测内容，由于缺乏与慢阻肺病症状相关的客观生理指标，许多研究中要求患者主动填写有关症状评估的问卷或量表，存在漏填、误填、不填等风险，需额外的人力监测患者所填数据质量[30，55]。在可穿戴设备的应用中，最常见的缺点便是采集的信息不准确[56]。

3.3　研究人群与适用人群存在差异

IoT 在许多研究中得到了十分理想的效果，但在研究人群方面存在一定程度的选择偏倚。手机是 IoT 中最为普遍的设备，多数研究中要求研究对象具备智能手机，但智能手机在慢阻肺病患者中并不普及。一项调查中仅 23% 的慢阻肺病患者有智能手机，虽然整体而言，慢阻肺病患者对 IoT 持支持态度，但该类方法本身的技术问题、患者缺乏认知、老年人接受能力差、经济因素等是阻碍他们使用该类产品的主要原因[57]。尽管终端设备的操作界面越来越简洁，但慢阻肺病患者多为老年人，对智能手机、平板电脑等电子设备的使用能力不一。一项通过智能手机及可穿戴设备监测患者康复活动的研究中，47% 的患者因难以操作设备而退出研究[58]。在我国进行的一项针对社区老年慢阻肺病患者的质性研究显示，由于老年患者缺乏使用智能手机进行操作的能力，因此，他们更倾向于传统的疾病管理模式[59]。以上因素也将对研究结果的代表性产生影响，进而限制该技术的推广与人群应用。

3.4　数据可利用度差

通过云计算能力对采集的数据进行计算、分析并以可视化形式呈现给用户是临床工作者所期待的。尽管一些可穿戴设备能够准确地收集生理数据，但参数计算智能化不足，大部分数据为原始数据，仍需要专业人员提取原始数据进行核对后做出人工诊断[2，60]，降低了数据可利用度。

4　IoT 在慢阻肺病管理中的应用展望

随着 IoT 发展的逐渐完善，其对疾病管理模式也将产生不可忽视的影响。针对 IoT 在慢阻肺病管理中的应用中存在的上述问题提出以下展望。

4.1　针对慢阻肺病疾病特点，开发符合疾病管理需求的应用系统或设备

基于慢阻肺病的疾病特点，长程管理及随访尤为重要，这不仅关乎常规的病情评价，更在于及时、有效地发现急性加重事件。而在治疗方面，吸入药物是慢阻肺病患者特有的用药，而该项治疗又需根据病情变化进行调整。除此之外，呼吸道症状评估、戒烟指导、康复训练、肺功能测试等内容在慢阻肺病管理中均是必备要素，然而当前鲜有综合了上述慢阻肺病管理需求的物联网产品。在未来的方案设计中，需考虑到慢阻肺病管理中各个环节的特点，设计符合病情特点的产品。

4.2　开展更为高质量的临床研究，系统评价该类技术在真实临床环境下的应用效果

目前的多数研究已经进行了技术可能性的验证，在未来的研究中，更应着眼于评价该类方法的可实施性、有效性。可选择技术成熟的产品或模式，结合临床需求，开展更为广泛的验证试验。例如，可穿戴设备在消费市场具有可观的前景，可将技术成熟的可穿戴设备引入临床实践，将用户的自我需求与医疗需求充分结合。如，提升对带有运动传感器且兼顾呼吸频率及心率、外周血氧饱和度监测的消费级可穿戴设备的准确性，将其引入临床，应用于如 6 min 步行试验的临床监测[61-62]。

4.3　重视卫生经济学评价

具备良好的可行性是技术推广的必要条件之一，但为了更好地推广该技术，也需要从卫生经济学角度评价该类方法的效用。目前的研究多在经济发达地区开展，虽然研究产品表现出了良好的有效性，但多数设备成本较高。我国慢阻肺病患者人群庞大，特别是在经济欠发达地区，在考虑有效性的同时也需兼顾经济效益。未来的研究中应重视有效性与成本 - 效益兼得的产品。

4.4　结合适用人群特点，提高使用体验

研究中除了注重技术本身的效果，还应注重用户的感受，深入了解研究中存在的问题，不断优化使用体验。通过定性研究可了解医护人员、患者对该方法的看法或态度，充分了解 IoT 的优势与短板[63]，为进一步改进研究质量、提升产品设计保驾护航。对于慢阻肺病而言，患者多为老年人，了解患者的看法与态度及需求有助于更好地推广该类技术的应用。

综上所述，通过 IoT 进行慢阻肺病管理具有一定的可能性，然而，目前的大多数研究仍处于探索阶段，缺乏高质量、大样本研究，对于技术成熟的产品或疾病管理方式应注重真实世界应用的评价。此外，后期仍需要更多的证据来阐明其在慢阻肺病患者远期临床结局、医疗资源利用和生活质量方面的作用。产品设计应当符合慢阻肺病疾病特征及使用人群特点，同时，也应重视定性研究，了解用户使用体验、看法或态度，优化产品。

作者贡献：潘子涵检索文献并起草了本文；李姝润进行了文献检索；陈亚红选定了文章主题，对文章进行了修改，并对文章负责。

本文无利益冲突。

参考文献

[1] 杨达伟，张静，白春学. 物联网医学的研究现状和展望[J]. 国际呼吸杂志，2012，32（18）：1438-1441. DOI：10.3760/cma.j.issn.1673-436X.2012.018.018.

[2] 万振，邱丹，刘元喆，等. 国内医疗物联网技术发展及应用现状[J]. 医疗卫生装备，2020，41（11）：82-86，102. DOI：10.19745/j.1003-8868.2020257.

[3] 李彦儒，曾咏梅，程丽，等. 物联网在慢性疾病中应用现状的可视化分析[J]. 循证护理，2021，7（2）：235-240. DOI：10.12102/j.issn.2095-8668.2021.02.019.

[4] RAVI P S，MOHD J B，ABID H，et al. Internet of things （IoT） applications to fight against COVID-19 pandemic[J]. Diabetes Metab Syndr，2020，14（4）：521-524. DOI:10.1016/j.dsx.2020.04.041.

[5] HUHN S，AXT M，GUNGA H C，et al. The impact of wearable technologies in health research：scoping review[J]. JMIR Mhealth Uhealth，2022，10（1）：e34384. DOI：10.2196/34384.

[6] ROBLYER D M. Perspective on the increasing role of optical wearables and remote patient monitoring in the COVID-19 era and beyond[J]. JBO，2020，25（10）：102703. DOI：10.1117/1.JBO.25.10.102703.

[7] CHANNA A，POPESCU N，SKIBINSKA J，et al. The rise of wearable devices during the COVID-19 pandemic：a systematic review[J]. Sensors，2021，21（17）：5787. DOI：10.3390/s21175787.

[8] World Health Statistics 2017-Monitoring health for the SDGs[EB/OL].[2021-05-10].http：//www.indiaenvironmentportal.org.in/content/442747/world-health-statistics-2017-monitoring-health-for-the-sdgs/.

[9] WANG C，XU J Y，YANG L，et al. Prevalence and risk factors of chronic obstructive pulmonary disease in China （the China Pulmonary Health[CPH] study）：a national cross-sectional study[J]. Lancet，2018，391（10131）：1706-1717. DOI：10.1016/S0140-6736（18）30841-9.

[10] VAN DER HEIJDEN M，LUCAS P J F，LIJNSE B，et al. An autonomous mobile system for the management of COPD[J]. J Biomed Inform，2013，46（3）：458-469. DOI：10.1016/j.jbi.2013.03.003.

[11] 陈小平，李星，何斐，等. 基于物联网医疗下慢性阻塞性肺疾病规范化管理模式的SWOT分析[J]. 中国卫生标准管理，2022，13（13）：120-124. DOI：10.3969/j.issn.1674-9316.2022.13.029.

[12] PAN Z H，DICKENS A P，CHI C H，et al. Accuracy and cost-effectiveness of different screening strategies for identifying undiagnosed COPD among primary care patients （≥ 40 years） in China：a cross-sectional screening test accuracy study：findings from the Breathe Well group[J]. BMJ Open，2021，11（9）：e051811. DOI：10.1136/bmjopen-2021-051811.

[13] 李凡，高臻，盛春风，等. 移动互联网信息平台在慢性阻塞性肺疾病分级诊疗中的应用效果研究[J]. 中国全科医学，2018，21（30）：3730-3734. DOI：10.12114/j.issn.1007-9572.2018.00.030.

[14] TIPPARAJU V V，WANG D，YU J J，et al. Respiration pattern recognition by wearable mask device[J]. Biosens Bioelectron，2020，169：112590. DOI：10.1016/j.bios.2020.112590.

[15] PIPEK L Z，NASCIMENTO R F V，ACENCIO M M P，et al. Comparison of SpO2 and heart rate values on Apple Watch and conventional commercial oximeters devices in patients with lung disease[J]. Sci Rep，2021，11（1）：18901. DOI：10.1038/s41598-021-98453-3.

[16] HAWTHORNE G，GREENING N，ESLIGER D，et al. Usability of wearable multiparameter technology to continuously monitor free-living vital signs in people living with chronic obstructive pulmonary disease：prospective observational study[J]. JMIR Hum Factors，2022，9（1）：e30091. DOI：10.2196/30091.

[17] 刘怡彤，马利军. 基于“互联网+”的移动医疗技术在慢性阻塞性肺病稳定期管理的应用及问题研究[J]. 医学信息，2019，32（6）：38-40. DOI：10.3969/j.issn.1006-1959.2019.06.014.

[18] 崔晶晶，刘元元，郝敬媛，等. 基于物联网的呼吸慢病管理[J]. 中国老年保健医学，2021，19（2）：149-151. DOI：10.3969/j.issn.1672-2671.2021.02.049.

[19] WU C T，LI G H，HUANG C T，et al. Acute exacerbation of a chronic obstructive pulmonary disease prediction system using wearable device data，machine learning，and deep learning：development and cohort study[J]. JMIR Mhealth Uhealth，2021，9（5）：e22591. DOI：10.2196/22591.

[20] FERNANDEZ-GRANERO M A，SANCHEZ-MORILLO D，LEON-JIMENEZ A. Computerised analysis of telemonitored respiratory sounds for predicting acute exacerbations of COPD[J]. Sensors，2015，15（10）：26978-26996. DOI：10.3390/s151026978.

[21] 周磊，姜燕，杜春玲，等. 物联网便携式肺功能检测仪的研制与临床应用[J]. 国际呼吸杂志，2019，39（2）：113-118. DOI：10.3760/cma.j.issn.1673-436X.2019.02.007.

[22] 王广东，马爱平，陈玲玲，等. 物联网便携式肺功能仪用于厦门市居民肺功能筛查的效果分析[J]. 临床肺科杂志，2022，27（11）：1653-1658. DOI：10.3969/j.issn.1009-6663.2022.11.005.

[23] GURBETA L，BADNJEVIC A，MAKSIMOVIC M，et al. A telehealth system for automated diagnosis of asthma and chronical obstructive pulmonary disease[J]. J Am Med Inform Assoc，2018，25（9）：1213-1217. DOI：10.1093/jamia/ocy055.

[24] CHUNG H，JEONG C，LUHACH A K，et al. Remote pulmonary function test monitoring in cloud platform via smartphone built-in microphone[J]. Evol Bioinform Online，2019，15：1176934319888904. DOI：10.1177/1176934319888904.

[25] 高连军，赵红梅. 2017年全国各级医疗机构医生对肺康复的认知及实施状况的调查[J]. 中华结核和呼吸杂志，2019，42（4）：275-278.. DOI：10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2019.04.006.

[26] VASILOPOULOU M，PAPAIOANNOU A I，KALTSAKAS G，et al. Home-based maintenance tele-rehabilitation reduces the risk for acute exacerbations of COPD，hospitalisations and emergency department visits[J]. Eur Respir J，2017，49（5）：1602129. DOI：10.1183/13993003.02129-2016.

[27] GAGNON S，ROSS B，BOURBEAU J. Video teleheath and pulmonary rehabilitation：need for a better understanding[J]. Am J Respir Crit Care Med，2020，201（1）：119-120. DOI：10.1164/rccm.201907-1394LE.

[28] 杨露露，杨汀. 移动智能设备在慢性阻塞性肺疾病患者呼吸康



复中的研究进展[J]. 中华物理医学与康复杂志，2021，43(8)：748-751. DOI：10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.08.019.

[29] 冯鹏，董卫彦，谢婷，等. 物联网在 COPD 患者呼吸康复护理中的应用[J]. 中华现代护理杂志，2021，27（12）：1625-1629. DOI：10.3760/cma.j.cn115682-20200906-05230.

[30] 张鑫，李文雅. 基于物联网云平台的肺康复护理对慢性阻塞性肺疾病稳定期老年患者的干预效果[J]. 中国医药科学，2022，12（15）：127-130. DOI：10.3969/j.issn.2095-0616.2022.15.032.

[31] XIANG G L，ZHU X D，MA L，et al. Clinical guidelines on the application of Internet of Things （IOT） medical technology in the rehabilitation of chronic obstructive pulmonary disease [J]. J Thorac Dis，2021，13（8）：4629-4637. DOI：10.21037/jtd-21-670.

[32] HONKOOP P，USMANI O，BONINI M. The Current and future role of technology in respiratory care[J]. Pulm Ther，2022，8(2)：167-179. DOI：10.1007/s41030-022-00191-y.

[33] SORINO C，NEGRI S，SPANEVELLO A，et al. Inhalation therapy devices for the treatment of obstructive lung diseases：the history of inhalers towards the ideal inhaler [J]. Eur J Intern Med，2020，75：15-18. DOI：10.1016/j.ejim.2020.02.023.

[34] HÄUßERMANN S，ARENDSEN L J，PRITCHARD J N. Smart dry powder inhalers and intelligent adherence management [J]. Adv Drug Deliv Rev，2022，191：114580. DOI：10.1016/j.addr.2022.114580.

[35] ZABCZYK C，BLAKEY J D. The effect of connected smart inhalers on medication adherence [J]. Front Med Technol，2021，3：657321. DOI：10.3389/fmedt.2021.657321.

[36] JANSEN E M，VAN DE HEI S J，DIERICK B J H，et al. Global burden of medication non-adherence in chronic obstructive pulmonary disease （COPD） and asthma：a narrative review of the clinical and economic case for smart inhalers [J]. J Thorac Dis，2021，13（6）：3846-3864. DOI：10.21037/jtd-20-2360.

[37] BOWLER R，ALLINDER M，JACOBSON S，et al. Real-world use of rescue inhaler sensors，electronic symptom questionnaires and physical activity monitors in COPD [J]. BMJ Open Respir Res，2019，6（1）：e000350. DOI：10.1136/bmjresp-2018-000350.

[38] PLEASANTS R A，CHAN A H，MOSNAIM G，et al. Integrating digital inhalers into clinical care of patients with asthma and chronic obstructive pulmonary disease [J]. Respir Med，2022，205：107038. DOI：10.1016/j.rmed.2022.107038.

[39] JIANG W P，WANG L L，SONG Y L. Titration and follow-up for home noninvasive positive pressure ventilation in chronic obstructive pulmonary disease：the potential role of tele-monitoring and the Internet of Things [J]. Clin Respir J，2021，15（7）：705-715. DOI：10.1111/crj.13352.

[40] 黎茂林，王黎黎. 基于家用呼吸机的健康管理云平台设计与实现[J]. 医疗卫生装备，2020，41（11）：34-39. DOI：10.19745/j.1003-8868.2020247.

[41] RADOGNA A V，SICILIANO P A，SABINA S，et al. A low-cost breath analyzer module in domiciliary non-invasive mechanical ventilation for remote COPD patient monitoring [J]. Sensors，2020，20（3）：653. DOI：10.3390/s20030653.

[42] 高辉，高院，孙萍，等. 网络远程管理联合无创通气治疗慢性阻塞性肺疾病合并呼吸衰竭的临床研究[J]. 临床肺科杂志，2020，25（3）：347-351. DOI：10.3969/j.issn.1009-6663.2020.03.006.

[43] 李文龙，张华，张鹏. 物联网云平台管理下慢性阻塞性肺疾病合并慢性呼吸衰竭患者家庭无创通气效果及依从性研究[J]. 临床内科杂志，2017，34（4）：275-276. DOI：10.3969/j.issn.1001-9057.2017.04.019.

[44] PINTO A，ALMEIDA J P，PINTO S，et al. Home telemonitoring of non-invasive ventilation decreases healthcare utilisation in a prospective controlled trial of patients with amyotrophic lateral sclerosis [J]. J Neurol Neurosurg Psychiatry，2010，81（11）：1238-1242. DOI：10.1136/jnnp.2010.206680.

[45] TURINO C，DE BATLLE J，WOEHRLE H，et al. Management of continuous positive airway pressure treatment compliance using telemonitoring in obstructive sleep apnoea [J]. Eur Respir J，2017，49（2）:1601128. DOI:10.1183/13993003.01128-2016.

[46] DENNIS H，JEREMIAH W C，ADAM V B，et al.Effect of telemedicine education and telemonitoring on continuous positive airway pressure adherence [J]. Am J Respir Crit Care Med，2018，197（1）:117-126. DOI：10.1164/rccm.201703-0582OC.

[47] PÉPIN J L，JULLIAN-DESAYES I，SAPÈNE M，et al. Multimodal remote monitoring of high cardiovascular risk patients with OSA initiating CPAP：a randomized trial [J]. Chest，2019，155（4）：730-739. DOI：10.1016/j.chest.2018.11.007.

[48] MCLEAN S，NURMATOV U，LIU J L Y，et al. Telehealthcare for chronic obstructive pulmonary disease：Cochrane Review and meta-analysis [J]. Br J Gen Pract，2012，62（604）：e739-749. DOI：10.3399/bjgp12X658269.

[49] SORIANO J B，GARCÍA-RÍO F，VÁZQUEZ-ESPINOSA E，et al. A multicentre，randomized controlled trial of telehealth for the management of COPD [J]. Respir Med，2018，144：74-81. DOI：10.1016/j.rmed.2018.10.008.

[50] 白春学. 改变社区和专科医师服务模式的技术平台——物联网医学的深层次作用[J]. 国际呼吸杂志，2014，34（12）：881-882. DOI：10.3760/cma.j.issn.1673-436X.2014.12.001.

[51] 王伟刚，魏新萍，马学东，等. 基于物联网的古美社区慢性阻塞性肺疾病患者管理模式的建立[J]. 复旦学报（医学版），2017，44（3）：344-347. DOI：10.3969/j.issn.1672-8467.2017.03.015.

[52] 陈小平，翁朝航，池海燕，等. 物联网医学技术在肺功能筛查中的应用研究[J]. 中国卫生信息管理杂志，2020，17（4）：528-532，543. DOI：10.3969/j.issn.1672-5166.2020.04.025.

[53] 吕梦轩，祁祯楠，迟春花. 基于可穿戴设备的智慧医疗对慢性阻塞性肺疾病管理的影响[J]. 中华全科医师杂志，2022，21（3）：213-218. DOI：10.3760/cma.j.cn114798-20210918-00711.

[54] 蒋维芃，金鑫，陈翠翠，等. 可穿戴设备在呼吸系统疾病中的应用现状与展望[J]. 中国临床医学，2021，28（6）：919-924. DOI：10.12025/j.issn.1008-6358.2021.20210361.

[55] 赵虹，高小丽，郭贝贝，等. 物联网联合多学科诊疗康复护理模式对慢性阻塞性肺疾病康复效果的影响[J]. 结核与肺部疾病杂志，2022，3（3）：187-192. DOI：10.19983/j.issn.2096-8493.20220046.

[56] VAN DER KAMP M R，KLAVER E C，THIO B J，et al. WEARCON：wearable home monitoring in children with asthma reveals a strong association with hospital based assessment of asthma control［J］. BMC Med Inform Decis Mak，2020，20（1）：192. DOI：10.1186/s12911-020-01210-1.

[57] ALWASHMI M F，FITZPATRICK B，FARRELL J，et al. Perceptions of patients regarding mobile health interventions for the management of chronic obstructive pulmonary disease：mixed methods study［J］. JMIR Mhealth Uhealth，2020，8（7）：e17409. DOI：10.2196/17409.

[58] BENTLEY C L，POWELL L，POTTER S，et al. The use of a smartphone app and an activity tracker to promote physical activity in the management of chronic obstructive pulmonary disease：randomized controlled feasibility study［J］. JMIR Mhealth Uhealth，2020，8（6）：e16203. DOI：10.2196/16203.

[59] 唐玲，郭爱敏，俞杰，等. 社区老年慢性阻塞性肺疾病患者对基于移动医疗的健康教育需求的质性研究［J］. 中国护理管理，2022，22（4）：537-542. DOI：10.3969/j.issn.1672-1756.2022.04.012.

[60] KHUNDAQJI H，HING W，FURNESS J，et al. Wearable technology to inform the prediction and diagnosis of cardiorespiratory events：a scoping review［J］. PeerJ，2021，9：e12598. DOI：10.7717/peerj.12598.

[61] CAULFIELD B，KALJO I，DONNELLY S. Use of a consumer market activity monitoring and feedback device improves exercise capacity and activity levels in COPD［J］. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc，2014，2014：1765-1768. DOI：10.1109/EMBC.2014.6943950.

[62] YAMAMOTO A，NAKAMOTO H，YAMAGUCHI T，et al. Validity of a novel respiratory rate monitor comprising stretchable strain sensors during a 6-Min walking test in patients with chronic pulmonary obstructive disease［J］. Respir Med，2021，190：106675. DOI：10.1016/j.rmed.2021.106675.

[63] KAYYALI R，SAVICKAS V，SPRUIT M A，et al. Qualitative investigation into a wearable system for chronic obstructive pulmonary disease：the stakeholders' perspective［J］. BMJ Open，2016，6（8）：e011657. DOI：10.1136/bmjopen-2016-011657.

（收稿日期：2023-06-11；修回日期：2023-08-11）

（本文编辑：崔莎）